

太陽熱 給湯Systems에 있어서 實驗과 Computer에 의한 性能比較

DR. STANLEY T. LIU · A. HUNTER FANNEY *

(ASHRAE JOURNAL MAY 1980)

徐 辰 錫 譯

要 約

最近 太陽熱을 利用한 家庭用 温水給湯 System에 使用되는 Computer Program은 3種 類^{1)~6)}가 있으나, 이에 대한 타당성을 調査하기 위해 美國 國立標準研究所(National Bureau of Standards)에서는 Gaithersburg 病院부지에 6가지의 獨창적인 System을 考案,設置하여 1978年 6月부터 必要한 Data를 얻어왔다. 여기서는 실험장치 및 실험결과를 收錄하고, 처음 12個月 동안 實驗한 結果를 Computer의 豫見과 比較하였다. 本 內容은 1980年 ASHRAE의 LA. Semiannual Meeting의 Sols Hot Water Systems의 심포지움에 發表되었으며, Transactions, Vol. 86, Part 1.에 揭載되었다.

1. 實驗裝置

實驗設備은 6個의 서로 다른 System으로 구성되었으며, 그림 1에 概略圖가 있다. 6個의 System中 3個는 太陽熱豫熱槽와 함께 일반적 인 電氣温水槽를 使用하고, 나머지 3個는 한 개의 貯藏槽위부분에 電氣의인 熱源을 設置하였다. 各 System에 대한 說明은 다음과 같다.

1.1 直接利用單槽(Single tank direct)

이 System은 並列연결된 두개의 集熱器와 하나의 물貯藏탱크, Flow Control 밸브, 結水防止回路가 附着된 ON-OFF 溫度調節裝置,

펌프, 配管 및 絶연재등으로 構成되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 이 System은 2個의 集熱器를 使用하였으나, 다른 System은 3個를 使用하며, 集熱器는 單層유리덮개의 平板式 液體集熱器이다. 우리는 tempered-glass로서 反射를 減少시키기 위해 表面線에 低鐵材로 etching 되어 있다. 鐵材吸熱板은 銅管이 지나도록 成型되어있고, 黑크롬으로 被覆되어 있다. 各 集熱器의 總面積은 1.67 m²(18 Ft²)이며, 實際使用 가능한 面積은 1.44 m²(15.5 Ft²)이고 傾斜角은 緯도와 같이 地平線에서 39°를 갖이며, 正南을 向하게 하였다.

이 System에서 탱크는 310ℓ(82 gal.)의 래식 電氣히터를 使用하며, 2개의 4.5kw 熱源이 使用된다. 冷水流入器는 탱크 윗면에서 0.41 m(53.0 in.) 아래로 뻗쳐있는 dip tube로 이

* Thermal Solar Group, Center for Building Technology, N. B. S., Whshing ton, DC.

** 陸軍士官學校, 機械工學科.

루어져 있다. 탱크는 유리섬유절연체 5.1 cm (2.0 in)의 두께로 절연되어 있고, 위쪽 Thermostat는 60°C (140°F)를維持하도록 조정되어 있으며, 온수혼합밸브는 60°C의 물을 49°C (120°F)의 온도로調節한다.補助히터와 혼합밸브에 사용되는 Thermostat는 모든 System에利用된다.

Controller는集熱器의吸熱板과貯藏탱크 사이에溫度差가 8.9°C (16°F)가될때循環펌프를作動시키기위해利用되며,溫度差가 1.7°C (3°F)以下일때에는정지한다.集熱器內를흐르는流量은各各의集熱器 Modnle을 통해서 1.7ℓ/min (0.44 GPM)로 조정되어있으며 이것은 다른 세개의 pumped liquid System에도 마찬가지로 되어 있다.貯藏탱크의 Sensor는 15.3cm (6 in) 높이의 外部탱크 表面에 있으며, Controller는集熱器의結氷을防止하기위해 2개의 Solenoid 밸브를 부착하고 있고 結氷防止作用은吸熱板의溫度가 2.8°C (37°F) 이하로 내려갈때始作된다. 하나의 Solenoid 밸브는 다른 하나가 열려있을 때集熱器로供給되는 것을 차단하고地面으로 Drainage 시킨다. 이와 같은作動은動力이 끊어져도作動된다. System의 가장 높은곳에 부착되어 있는 Air Vent와 Vacuum relief 밸브는集熱器에空氣가충만할 때配出시키며, Drainage時部分的으로眞空을除去시킨다.直徑 1.27 cm (0.50 in)의硬銅管은 두개의集熱器를 연결한直徑 2.54 cm (1.0 in)인 Header를除外한全部分에設置하며, 内部파이프에는 두께 1.27 (0.50 in)의 절연재 R-4를使用한다. 外部 절연재는 파이프위에 3.18cm (1.25 in) 두께의 유리섬유 절연재 R-5를使用하며,集熱器 Header에는 두께 5.10 cm (2 in)의 유리섬유 절연재를使用한다.

모든 System에는 아래에 서술한 特記內容을除外하고는 비슷한配管과 절연재를利用한다.

1.2 直接利用兩槽(Doulte Tank direct)

豫熱貯藏槽는直接利用單槽에使用되는 것과 동일하다. 양쪽의 4.5 kw의熱源은連結되어 있지않고,補助탱크는 159ℓ (42 gal) 짜리 재래식 電氣溫水器이다. 양쪽의 4.5 kw의熱源은 60°C (140°F) 온도를維持하며利用된다.豫熱貯藏탱크에 있는 물은 탱크내에 1.04m (41 in) 뻗쳐있는 Dip管을 통하여 다음 탱크로 들어간다. 탱크는 5.1cm (2 in) 두께의 유리섬유 절연재로 보호되어 있고, 모든 펌프와調節用部品과溫度指示計는直接利用單槽에使用된 것과同一하다.

1.3 間接利用單槽(Single Tank indirect)

310ℓ (82 gal)의 물貯藏탱크에는 탱크上部에總 4.5 kw의熱源을保持한다. 이중벽의熱交換用 자켓이 물탱크를 둘러싸고 있으며熱傳達用 流何는 40%의 ethylene glycol 과 증류수의混合物을使用한다.熱交換用자켓은 넓이 1.58 m² (17 ft²)로 기계적인 접촉으로 탱크 표면에 부착되어 있으며,熱交換器와 탱크의 주위에는 두께 7.62 cm (3 in)의 절연재를使用한다.

Controller는吸熱板과 탱크表面의溫度 Sensor 사이에差異가 10°C (18°F) 이상이 생길 때 펌프를作動시키며 또한 이 Sensor는 높이 74 cm (29 in)에 있으며,溫度差가 1.7°C (3°F) 일때는 펌프가 정지시킨다.

1.4 間接利用兩槽(Double tank indirect)

高溫熱源槽는總體의인熱源이 한개가 없는 것을除外하고는間接利用單槽에使用되는 것과同一하다.補助탱크는直接利用兩槽에使用되는 것과同一하다. Controller는間接利用單槽에利用되는 것과同一하다.

1.5 熱的사이폰 System (Thermosyphon System)

물貯藏槽는 250ℓ (66 gal) 짜리의 재래적인

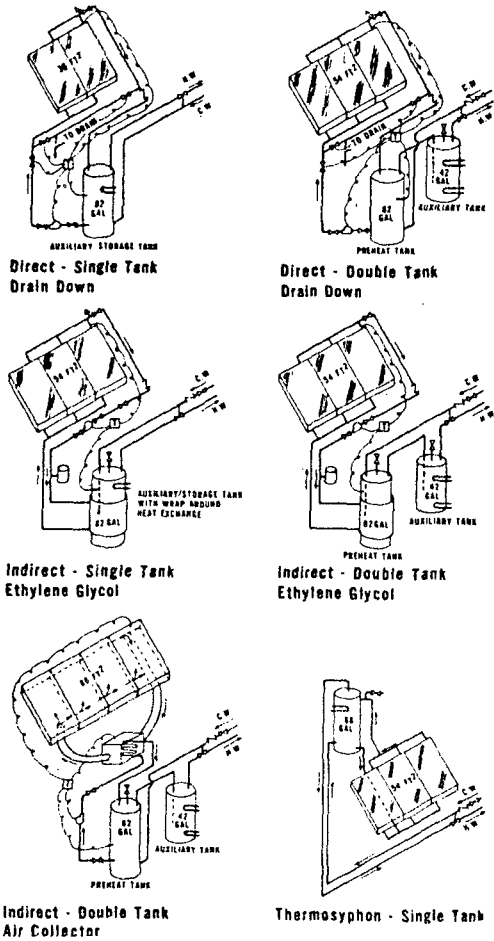


Fig. 1. Schematic of the six solar domestic hot water systems.

電氣溫水器이며, 이 實驗裝置에서는 바다에 熱源을 연결하지 않는 대신에 上部의 4.5 kw 熱源은 貯藏된 물의 上部를 60°C(140°F)를 유지시킨다.

結氷防止는 直接利用單·兩槽에 利用된 같은 方式을 使用하며, 集熱器回收配管에 있는 Check valve는 結氷期間中에 貯藏된 물의 drainage 뿐만 아니라 熱의 사이폰 現象의 逆流도 防止해준다.

2.54 cm (1 in)의 硬銅管은 集熱器의 흐름 루프(Flow Loop)에만 使用되고, 모든 配管은 壓力強下를 最少로 하기위해 굵기 부위를 최소로 維持하였다. 두께 1.27 cm (0.50 in)의 絶緣재

R-4는 내부파이프에 使用하고, 外部絶緣은 5.10 cm (2 in)의 R-8 유리섬유 絶緣체를 使用했다.

1.6 空氣 System (Air System)

이것은 4개의 空氣를 媒體로한 集熱器와 1개의 向流空氣-물 熱交換器, 2개의 물貯藏탱크, Controller, 펌프, Fan, 配管 및 Duct와 絶緣재로 구성되어 있다. 各 集熱器는 總面積 1.77 m² (19.1 ft²)이고 파이프의 面積은 1.53 m² (16.5 ft²)이다. 集熱器에는 neoprene perimeter 가스켓이 부착되었으며 유리덮개를 調節하는 2개의 (32 cm) 鐵板이 있다. 熱吸收器는 a baked-on non-selective 세라믹 被覆된 18 gage의 鐵板이다. 空氣는 吸收板 밑의 空間을 통해 순환된다.

Controller는 集熱器內의 空氣通路와 豫熱貯藏탱크사이의 溫度差가 22.2°C (40°F) 以上 될 때 循環器와 Fan을 同時에 作動시킨다. 貯藏탱크의 Sensor는 탱크바깥면에 높이 15.3 cm (6 in)되는 곳에 위치하고, 溫度差가 11°C (20°C) 以下일때에는 순환기의 作動이 중지된다.

豫熱과 附帶補助탱크는 直接利用兩槽 System과 同一한 것을 使用하고, 集熱器의 供給과 回收用 Duct는 1.27 cm (0.50 in)의 Foil-faced 絶緣재로 絶緣된 20.32 cm (8 in)의 Flexible Ducting이다.

2. 制御 System

6가지 System은 모두 入口水溫을 表1에 나타난것 보다 약간 높도록 일정하게 유지시킨다. 물의 溫度는 0.75 ton (9000 Btu h) Chiller와 연결되어 있는 4.5 kw 熱源이 들어있는 310 l (82 Gal)의 貯藏탱크에 의해 調節된다. 물은 各 System의 入口를 지나 Chiller와 310 l의 탱크를 통해 계속 循環된다. 溫度調節裝置는 물을 加熱하여 에너지를 供給하고 있는 탱크內의 電氣의 熱源을 調節하며, Chiller 안에

Table 1. Washington DC monthly source water temperature.

Month	Temperature °C	Temperature °C
Jan.	5.6	42.0
Feb.	5.6	42.0
Mar.	11.1	52.0
April	13.3	56.0
May	17.2	63.0
June	19.4	67.0
July	19.4	67.0
August	25.6	78.0
Sept.	26.1	79.0
Oct.	20.0	68.0
Nov.	12.8	55.0
Dec.	7.8	46.0

있는 thermostat 는 열을 제거하기 위해 Chiller를 작동시킬 때 온도基準點이 된다. 入口水温調節裝置는 온도基準點에서 2.5°C(4.5°F)를維持하며, 各温水 System의 出口는 主header와 상호 연결되어 있다. Header의 中心部에 있는 normally-closed 솔레노이드 밸브가 작동되면 Drainage로 排水가 된다. 各 System의 출구에 있는 throttle valve는 솔레노이드 밸브가 열려 있을 때 流量을 3.8 l/min로 유지하도록 장치되어 있고, Stepping relay와 연결되어 있는 전자시계는 1.5min에서 10 min까지의 시간을 일정하게 하고 여기에 맞춰진 시간 간격 동안에는 일정한 量의 물이 流出되도록 되어있다. 各 System은 매일 49°C의 温水를 약 265 l (70 Gal) 정도 공급하게 된다. 이 實驗에서 사용된 그림 2의 貧荷計劃은 Rand Cooperation의 J. Mutch⁷⁾에 의해 開發된 것을 사용하였으며 温水使用計劃의 代表的인 TRNSYS User's Manual¹⁾도 인용하였다.

3. 測定法方

물貯藏탱크안에는 15.2 cm (6 in) 位置마다 Type-T(copper-constant) 型열전대를 수

직으로 배열하였으며, 熱傳帶는 또한 各 System의 入口와 出口温도를 나타내게 한다. 入口와 出口에는 휴대용 온도計로써 熱傳帶와 함께 温도를 測定하고 Thermopile은 日沒後의 入口와 出口 溫度差를 측정한다.

電力計A (KWH-meter)는 電氣의熱源에 의해 소모된 補助에너지를 측정하고, 電力計B(WH-meter)는 各 System의 循環器, Controller 및 솔레노이드 밸브를 作動할때 使用한 에너지를 측정할 때 使用한다. 各 System의 물소모 양은 두개의 totalizer에 의해 測定하는데, 하나는 温水를 사용한 量을 測定하고 다른것은 太陽熱貯藏탱크를 實際로 통과한 量을 測定한다. 이 差異點은 温水가 49°F로 減温될 때 들어난 mixing 밸브를 통과한 冷水에 의해 발생된다.

로타 meter는 集熱器에서 各 System으로 循環되는 流何의 流量을 測定한다. 터어빈形流量計가 集熱器 流管에 설치되는 것과 같은 곳에는 3方밸브를 만든다. 各 System의 Controller에 연결되어 있는 elapsed time meter는 循環器가 作動하는 總時間을 測定하는데 使用한다.

氣象的인 記錄으로는 大氣溫度, 風速 및 風向 및 各種 輻射熱을 名記한다.

Data Acquisition System은 모든 channel이 10分 간격으로 記錄되며, 이는 9-track tape drive unit에 移記된다.

4. 實驗의 結果

4.1 熱的 解析

實驗設備들은 지난 1978年 6月 以來로 계속 Data를 記錄하였다. 本報에 발표된 Data는 1978年 7月~1979年 6月の 資料로써, 12個月동안 6個의 各 System에 部分的인 에너지節約(Fractional energy Savings)는 表2와 같으며, 이는 컴퓨터 예견과 종래의 標準 System의 결과와 비교하기 위해 선별하였다.

Fractional energy saving 은 다음과 같이 정의한다.

$$E = 1 - \frac{Q_{SHES}}{Q_{SHEC}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 E = 펌프, Fan, Controller, 솔레노이드 밸브등을 제외한 Fractional energy saving.

Q_{SHES} = Solar System에서 만들어진 溫水를 공급시키는데 사용한 재래적인 電氣熱源이 소모한 에너지.

재래적인 System에서는 전기를 이용한 197ℓ 溫水탱크의 표준 에너지 손실은 11,150KJ (10,570 Btu)/日로 생각한다.

Q_{SHEC} = Solar System에서 補助熱源에 사용된 에너지.

또한 表 2에는 펌프, Fan, Controller, 솔레노이드 밸브 등을 作動시킬때 필요한 補助에너지가 포함될때의 Fractional energy saving도 포함되어 있다. 이양은 다음으로 정의된다.

$$E_{AUX} = 1 - \frac{Q_{SHES} + Q_{AUX}}{Q_{SHEC}}$$

여기서, Q_{AUX} = 펌프, 팬, Controller, 및 솔레노이드 밸브에 사용된 에너지, KJ

1978年 7月 5日에서 1979年 7月 9日까지의 各 6個 System의 Fractional Energy Saving은 그림 3에 나타난다.

4. 2 作動上 問題點

처음 12個月동안 實驗設備作動에서 야기된 Hardware 問題는 直接利用兩槽와 Air System에 있어서 Controller와 Drain-down System에 솔레노이드 밸브가 고장나서 Controller는 교환하여야만 되었다.

直接利用單槽 System과 兩槽 System 및 thermosyphon System에서 솔레노이드 밸브의 결함은 세가지 문제를 야기시켰다. 貯藏탱크

가 결빙상태일때는 集熱器 Array 위에서 솔레노이드 밸브를 닫도록 장치되었으나, 作動하지 않았으므로 集熱器 Drain을 通하여 많은 量의 손실을 가져왔다. 또한 솔레노이드 밸브가 제대로 열리지 않았을 때는 manifold 파이프의 파열과 集熱器板위의 riser 파이프가 파열되었으며, 마지막으로 솔레노이드 밸브 안쪽에 있는 Diaphragm의 갈라진 틈으로 漏水가 생기게 되었다.

5. 結果 및 考擦

5. 1 實驗結果에 利用된 Simulation

SDHW 實驗裝備 6 System 중 5개는 1 또는 2 이상의 Computer program으로 Simulation되었다. 最近에 利用하는 thermosyphon System은 이와 같은 目的으로 使用할 program이 만들어져 있지않다.

5개의 System에 적용된 program은 다음과 같다.

System	Trnsys-9.2	f-Chart-3	Solcost	Solcost 2.0
Single Tank Direct	×	×		
Double Tank Direct	×	×	×	×
Single Tank Indirect		×		
Double Tank Indirect		×	×	×
Air System	×	×		

TRNSYS은 間接利用 System에서 폭이 넓고 效率이 좋은 熱交換器가 부착된 貯藏탱크의 部品부족으로 인해 적용하지 않는다. f-CHART는 兩槽탱크에 利用되는 TRNSYS를 開發하여 만들었으나, 폭이 넓고 效率이 좋은 熱交換器

를 사용하는 直接 및 間接利用 System 을 포함하는 모든 5 가지 System 을 Simulation 하는데 사용하였다. (이 프로그램은 Wisconsin 大學에서 開發하였다) 太陽熱溫水利用 System 에 대한 設計에 利用되는 f-CHART 는 원래(原來) 개발된 프로그램 자체와는 차이가 있다.

SOLCOST 와 SOLCOST 2.0 은 단지 直接利用兩槽 System 과 間接利用兩槽 System 에만 使用된다. SOLCOST 2.0 은 1979年 2月 부터 몇몇 programmer 에 의해 수정개발되었다. 太陽熱溫水利用에서 가장크게 수정된 것은 다음과 같다.

(1) 初期溫度를 固定的으로 使用하지 않고 每月 日出동안 貯藏탱크의 平均溫度를 계산상 反

復的으로 使用함.

(2) 프로그램에 貯藏탱크의 總熱損失계수를 入力으로 使用.

이와 같은 각 program 은 實際測定된 값과 가능한 근사하게 取하도록 努力하였으며 集熱板의 角度로 使用하였다.

5.1 實驗의 考擦

5 가지 System 의 各各에 實驗결과와 컴퓨터 豫見과 4 가지 program 비교는 그림 4 에 수록되어 있다. 比較基準은 式(1)에서 정의된 바와 같은 Fractional energy Saving E 에 두었다. E 와 f-CHART, SOLCOST, SOLCOST 2.0 에 의해 예견된 Solar fraction f. 와의 판

Table 2. Fractional Energy Savings of Six SDHW Systems at NBS, %

Month	Single Tank Direct	Double Tank Direct	Single Tank Indirect	Double Tank Indirect	Double Tank Air	Single Tank Thermosyphon
July	55.3 (46.9)	65.1 (54.3)	79.2 (74.1)	62.2 (56.8)	47.2 (36.6)	71.9 (71.9)
August	68.8 (59.2)	63.4 (51.3)	75.5 (70.0)	64.0 (58.3)	45.2 (32.4)	79.7 (79.7)
September	67.1 (57.5)	65.2 (53.9)	76.5 (70.7)	62.8 (57.6)	46.1 (34.7)	77.4 (77.4)
October	61.9 (54.4)	58.6 (50.8)	67.7 (63.7)	55.2 (51.1)	43.9 (35.5)	62.8 (62.2)
November	36.1 (31.1)	35.8 (29.7)	29.5 (27.0)	34.2 (31.8)	29.6 (25.6)	32.5 (29.3)
December	38.5 (34.1)	41.1 (35.7)	36.3 (34.2)	36.1 (33.2)	31.1 (25.5)	53.2 (50.2)
January	35.0 (31.8)	36.2 (32.3)	35.9 (34.0)	32.3 (30.3)	27.2 (23.2)	35.3 (33.6)
February	34.2 (31.4)	37.1 (33.4)	40.1 (37.9)	32.7 (30.5)	26.7 (22.1)	34.3 (33.2)
March	50.8 (44.9)	56.8 (50.1)	56.5 (53.4)	48.6 (45.5)	39.2 (32.6)	70.1 (67.1)
April	50.6 (44.3)	48.4 (40.6)	56.6 (53.4)	44.2 (40.6)	39.2 (32.2)	63.2 (58.4)
May	53.6 (46.2)	52.4 (43.0)	62.6 (58.7)	46.0 (41.8)	38.1 (29.1)	61.1 (56.6)
June	55.5 (47.2)	54.0 (54.0)	68.0 (63.5)	51.6 (46.8)	36.9 (26.4)	69.8 (68.6)
July, 1978 through June, 1979	50.4 (44.0)	50.8 (43.1)	56.7 (53.2)	47.3 (43.6)	37.4 (29.7)	60.2 (58.2)

() Fractional energy savings including energy necessary to run pumps, fan, controls, solenoid valves, etc.

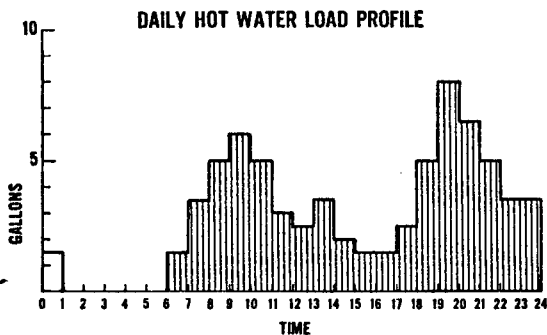


Fig. 2. Daily hot water load schedule

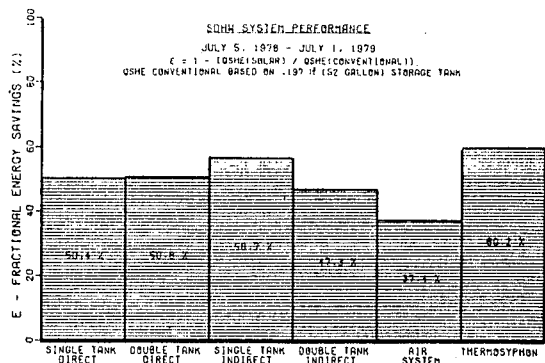


Fig. 3. Yearly (12 months) experimental results on the thermal performance of the six solar domestic hot water systems.

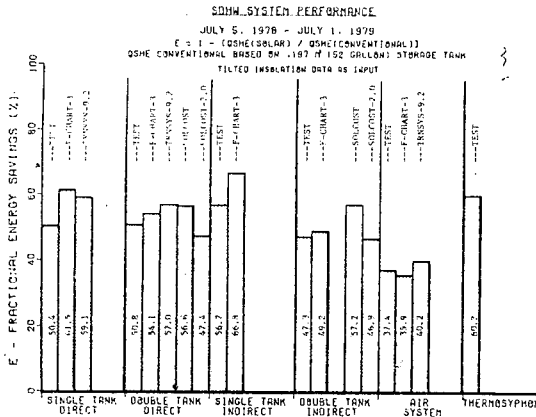


Fig. 4. Comparison of yearly experimental and computer predicted performance of the five solar domestic hot water systems.

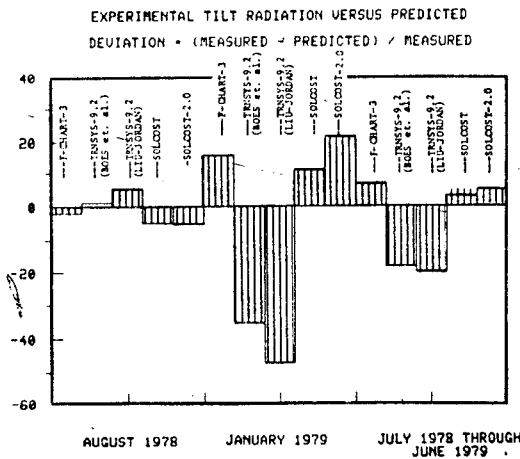


Fig. 5. Deviations on the values of measured and computer predicted average daily insolation on the tilted collector surface.

계는 單槽 System 에서

$$E = 1 - \frac{Q_L(1f)}{Q_L + Q_{TLC}} \dots\dots\dots (3)$$

이며, 兩槽 System 에서는

$$E = 1 - \frac{Q_L(1-f) + Q_{TLC}}{Q_L + Q_{TLC}} \dots\dots\dots (4)$$

로 나타낸다. 여기서

Q_{TLC} = 재래적인 System에서 탱크內에 발산되는 熱量, 11150 KJ(10570 BTU)/日

Q_{TLC} = 太陽熱 System에서 補助탱크로 발산되는 實際熱量, KJ

이다.

그러나 f의 값이 Fictitious 負荷에 기준을 둔 것이며 결과에서의 수정은 실제 溫水負荷를 계산근거로 사용했던 다른 컴퓨터 program 과 마찬가지로 실험결과를 비교하는데만 사용하므로 언급하지 않았다. TRNSYS에서 E는 式(1)에서 정의한 바와 같이 계산된다.

그림 4는 12개월 동안 경사각을 가진 集熱板上의 측정된 값을 program에 도입하여 계산한 것이다. 그림 4에서 측정된 결과는 장기간의 결과로 할지라도 예견된 값과 實際測定된 값의 오차는 11% 以內가 될것이다. 일반적으로는 다음과 같은 관찰이 예견된다.

- 4가지 Computer 프로그램이 모두 長期間의 예견에 잘 부합하였다.

- f-CHART는 兩槽利用 System이 單槽 System보다 많은 反復을 수행하였다.

- 같은 System에서 TRNSYS와 f-CHART는 2.4~3.4%의 차이가 나타난다. TRNSYS는 入力으로 예열탱크에서 測定된 탱크 熱損失係數를 使用하였고 이 값은 5.1 KJ/h·m²·°C로서 f-CHART에서 고려된 1.5 KJ/h·m²·°C보다 큰 값을 나타낸다. 이에 대한 이유는 f-CHART는 集熱器의 入口溫度가 높고 效率가 낮기때문에 혼합이 잘되는 예열 貯藏탱크를 使用하였고, TRNSYS는 集熱器 入口溫度가 낮고 效率를 높이기 위해 5겹의 成層된 탱크를 使用하였기 때문이다.

- 같은 System에 대하여 SOLCOST 2.0은 實驗結果의 豫見下에 있고 SOLCOST는 실험 결과의 예상 밖에 있다. 두가지의 오차는 약 10%가 된다. SOLCOST의 入力으로 사용된 값은 日出時 實際측정된 平均값으로서 利用된 溫度는 每月平均溫度의 2°C(4°F) 이내이다.

그림 5는 수평된 集熱板과 경사각을 가진 集

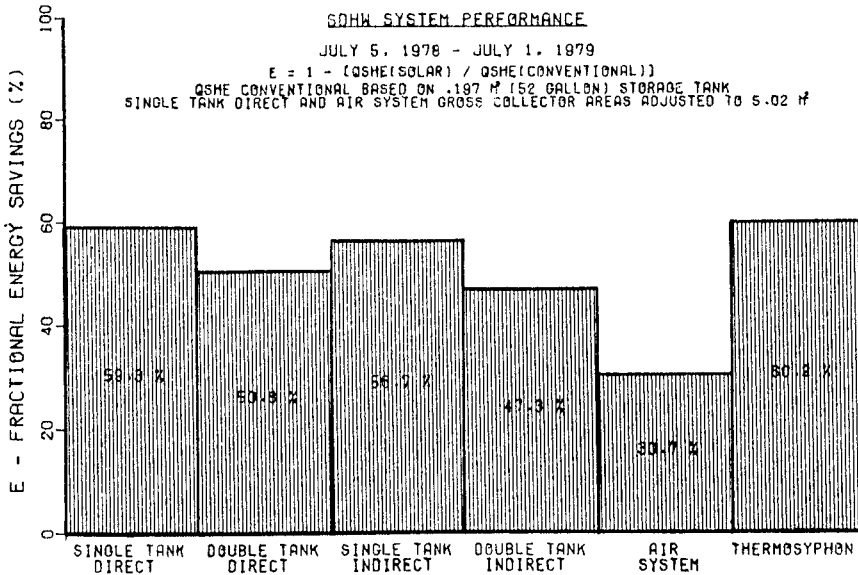


Fig. 6. Comparison of the experimental performance of six SDHW systems after adjustment for equal collector area for each system.

熱板의 측정값 차이를 나타낸 것이다. 여름(8월)에 사용된 값이 겨울(1월)의 값보다 오차가 작다.

특히 TRNSY 9-2는 겨울철의 集熱板이 경사각을 가졌을 때에 대한 것을 나타낸다.

그림 6은 直接利用單槽 System과 공기 System을 除外한 것의 集熱板 面積을 같이하여 결과를 비교한 것이다. 集熱面積이 다른 直接利用單槽 System과 空氣 System은 f-CHART에 의해 예견할 수 있다. 直接利用單槽 System에서 集熱器가 2個에서 3個로 증가 됨에 따라 Fractional energy saving E는 約 9% 增加한다(그림 3에서 50.4%이나 그림 6에서는 59.3%임.)

參 考 文 獻

1. "TRNSYS, A Transient Simulation Program," Engineering Experiment Station Report 38, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, (October, 1977).
2. Klein, S. A., Cooper, P. I., Freeman, J. A. Duffie, "A Method of Simulation of Solar Processes and Its Application," Solar Energy, Vol. 17, (1975). pp. 19 - 37.
3. Klein, S. A., Beckman, W. A., and J. A. Duffie, "A Design Procedure for Solar Heating Systems," Solar Energy, Vol. 18. (1976) pp. 113 - 127.
4. Klein, S. A., Beckman, W. A., and J. A. Duffie, "A Design Procedure for Solar Air Heating System," Solar Energy, Vol. 19, (1977) pp. 509 - 512.
5. Beckman, W. A., Klein, S. A., and J. A. Duffie, Solar Heating Design by the F-CHART Method, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1977).
6. Connolly, M., Giellis, R., Jensen, C., and R. McMordie, "Solar Heating and Cooling Computer Analysis-A Simplified

Design Method for Non-Thermal Specialists," Proceedings of the Joint Conference of the American Section of the International Solar Energy Society and the Solar Energy Society of Canada, held in Winnipeg, Canada, (August

15-20, 1976).

7. Mutch, J., "Residential Water Heating, Fuel Consumption, Economics, and Public Policy," Rand Report No. R 1498, (1974).